

PROCÉDE DE FABRICATION D'UN MOULE ET MOULE OBTENU

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un moule. Dans toute la suite, le terme "moulage" désigne l'action de fabriquer un objet à l'aide d'un moule. Lorsqu'aucune confusion avec la précédente définition n'est possible, le terme "moulage" peut également être employé pour désigner l'action de fabriquer un moule à partir d'une pièce dite modèle. Les termes "matériau(x) de moulage" désignent le(s) matériau(x) utilisé(s) pour fabriquer le moule ; les termes "matériau(x) à mouler" désignent le(s) matériau(x) utilisé(s) pour fabriquer les objets moulés à l'aide du moule.

Les procédés connus de fabrication de moule diffèrent à la fois par les matériaux de moulage qu'ils emploient, les diverses étapes de réalisation du moule, la forme du moule obtenu et son mode d'utilisation. Le choix d'un procédé parmi les autres est effectué en fonction de la complexité de la forme à reproduire, du nombre d'objets à réaliser avec le moule, du(des) matériau(x) à mouler...

Parmi les procédés de fabrication de moule connus, qui permettent d'obtenir des moules adaptés à la réalisation d'objets en plâtre, ciment, résine ou autre matière thermodurcissable, mousse expansée, etc., on peut citer :

- le moulage en bateau, consistant à réaliser un coffrage à l'intérieur duquel on place et on fixe le modèle, remplir le coffrage avec le matériau de moulage, choisi parmi le plâtre, les élastomères silicones et l'alginate selon la forme du modèle, puis démouler le modèle. Le moule peut être réalisé en une seule partie puis éventuellement découpé, ou réaliser en deux parties ou plus. Un tel procédé est certes relativement simple, mais présente un temps d'exécution souvent long en raison du temps nécessaire au séchage ou au durcissement du matériau de moulage,

- le moulage au trempé, consistant à immerger le modèle dans un matériau de moulage liquide pendant la phase de durcissement de celui-ci, répéter l'opération jusqu'à ce que se dépose une gangue sur le modèle, attendre le séchage complet de la gangue, la détacher du modèle. Le matériau de moulage est choisi parmi la-cire, le latex ou autre matériau thermodurcissable adapté. Un tel procédé trouve ses

limites dans le nombre de manipulations qu'il nécessite et le temps de durcissement du matériau de moulage ;

- le moulage par estampage, consistant à appliquer un matériau de moulage sur la surface du modèle, à presser le matériau de moulage contre le modèle ou inversement en vue de réaliser une empreinte, puis à décoller le modèle. On utilise pour ce faire des bandes plâtrées ou un matériau de moulage pâteux, choisi parmi le plâtre et le mastic en vue d'obtenir un moule rigide, ou encore un matériau gélatineux choisi parmi le latex, les élastomères de silicone et l'alginate en vue d'obtenir un moule souple, en une ou plusieurs parties, que l'on recouvre d'une chape rigide de maintien en plâtre ou bandes plâtrées éventuellement fractionnée pour permettre le démoulage. On peut également utiliser un matériau à stratifier, et appliquer par exemple, sur la surface du modèle, des morceaux de toile de verre que l'on imprègne de résine polyester. Là encore, les opérations sont nombreuses, de surcroît manuelles et pour la plupart impossibles à automatiser, et les temps de séchage ou de durcissement du matériau de moulage et/ou du matériau de chape pénalisent la productivité du procédé ;

- le moulage par coulée sous chape, consistant à protéger le modèle d'un film isolant (en papier aluminium par exemple), le recouvrir d'une couche uniforme d'un matériau pâteux tel que la plastiline ou l'argile, estamper une chape en plâtre au moyen du modèle ainsi recouvert, décoller ladite chape après la prise du plâtre et la percer de quelques trous de coulée, retirer le matériau pâteux et le film isolant du modèle, replacer le modèle dans la chape de plâtre et refermer celle-ci de façon étanche (à l'exception des trous de coulée), couler un élastomère de silicone dans la chape, qui prend place entre le modèle et la chape. Le moule peut être réalisé en une ou plusieurs parties. Ce procédé est à l'évidence particulièrement long et complexe.

Par ailleurs, parmi les moules et procédés de fabrication de moule connus utilisés dans la fonderie (de tels moules sont destinés à recevoir des alliages métalliques en fusion), on peut citer :

- les moules en sable (grains de silice...) ou autre matériau réfractaire non siliceux (zircon, chromite, olivine, bauxite). Un tel moule est construit en deux parties, correspondant chacune sensiblement à une moitié du modèle, par

compression de sable dans un châssis. Le sable est ainsi serré entre le châssis et le modèle, puis le modèle est retiré. La cohésion du sable est assurée par un liant, notamment choisi parmi l'argile humide, les gels de silice, les résines synthétiques, les ciments..., ou par des liaisons de type céramique que l'on crée à haute température. Ce

5 procédé, pourtant le plus répandu, présente de multiples inconvénients :

- le moule en sable obtenu est détruit au démoulage et ne sert donc qu'une fois ; et le recyclage du sable est rendu difficile voir impossible par la présence des liants,
- la manipulation du sable est contraignante et dangereuse ; les poudres de silicate volatiles obligent à porter un masque,
- 10 • les quantités de sable nécessaires conditionnent l'emplacement de la fonderie (à proximité d'une sablière),
- le moule en sable étant froid, la solidification débute le long des parois du moule et doit se terminer dans les masselottes (volume de moulage supplémentaire prévu pour que le volume de métal liquide coulé soit supérieur au volume de métal solide de la
- 15 pièce finie, en raison de la rétractation du métal lors de sa solidification) ; le refroidissement des portions d'objet d'épaisseur importante est très lent ; inversement, le refroidissement des portions d'objet de faible épaisseur est rapide et rend le remplissage difficile ; la vitesse de remplissage doit être supérieure à la vitesse de solidification,
- 20 • l'état de surface du moule, et donc de l'objet moulé dans un tel moule, est grossier ; des opérations de finition (polissage par exemple) sur l'objet ou le moule sont nécessaires,
- l'objet moulé présente une couture au niveau du plan de joint des deux parties du moule ;

25 - les coquilles, formant un moule métallique en deux parties, réalisées à partir d'un matériau de moulage choisi parmi les fontes, les alliages d'aluminium, les laitons, les cupro-aluminiums, les aciers, selon l'alliage métallique que le moule est destiné à recevoir et le procédé d'introduction dudit alliage liquide dans le moule (alliage coulé par gravité, coulé-sous basse pression, coulé-sous haute pression, coulé centrifugé). Les coquilles sont moulées dans un châssis contenant le modèle et/ou

usinées aux formes du modèle. Contrairement au moule en sable, les coquilles sont réutilisables, présentent une bonne précision dimensionnelle et un bon état de surface. En revanche, elles sont particulièrement onéreuses, et ne permettent pas, à l'instar des moules en sable, de contrôler le refroidissement de l'alliage en fusion qu'elles
5 reçoivent ;

- le moulage à la cire perdue, consistant à réaliser un modèle destructible (par opposition aux modèles permanents utilisés dans les autres procédés précédemment décrits) en cire par un procédé de moulage classique, enrober le modèle en cire d'un produit réfractaire, après durcissement du produit réfractaire formant le
10 moule, faire fondre la cire et l'extraire du moule, cuire celui-ci. Ce procédé permet d'obtenir un moule de précision permettant de fabriquer des objets sans couture ni défaut de surface. En revanche, il est relativement complexe et coûteux, oblige à fabriquer un modèle par moule réalisé, et fournit un moule utilisable une seule fois puisque qu'il doit être détruit pour libérer l'objet moulé.

15 A noter que, pour la réalisation de barres métalliques de très grande longueur, il est également connu d'utiliser un moule en graphite, dit lingotière, qui joue le rôle d'une filière, dans laquelle l'alliage en fusion est coulé en continue. Le graphite utilisé pour la fabrication d'une telle lingotière est un graphite artificiel, élaboré à partir de matières premières carbonées telles que les noirs (de fumée ou de
20 pétrole), les cokes (métallurgiques ou de pétrole), les graphites naturels, les graphites industriels (provenant de matières électro-graphitées rebroyées) ; après broyage, tamisage et sélection, les matières premières pulvérulentes sont mélangées à des liants tels que des goudrons, des brais, des résines phénoliques et furfuryliques ; les pâtes obtenues sont travaillées par meulage et tréfilage, puis sont cuites et rebroyées puis
25 remélangées ; elles sont ensuite filées en rondins ou ébauches creuses par extrusion ; les rondins ou ébauches sont ensuite cuit(e)s en vue d'obtenir la cokéfaction du liant et l'agglomération de la matière carbonée de base, puis graphité(e)s par chauffage à plus de 2000°C. A noter que les rondins ou ébauches subissent un retrait important lors de la cuisson et présentent une surface croûtée qui nécessite un usinage ultérieur. En vue de
30 sa protection contre l'oxydation et la corrosion, la surface de la lingotière ainsi obtenue

est généralement recouverte d'un dépôt de pyrocarbone (obtenu par pyrolyse d'un hydrocarbure tel que le méthane, à une température comprise entre 800 et 2000°C) ou d'une feuille de graphite souple connue sous le nom de Papyex[®] (obtenue par laminage de paillettes de graphite naturel expansé). La fabrication d'un moule de type lingotière
5 est à l'évidence particulièrement complexe, contraignante et coûteuse.

L'invention vise à pallier ces inconvénients en proposant un procédé de fabrication de moule particulièrement simple, rapide et peu coûteux.

L'invention vise notamment à proposer un procédé de fabrication de moule extrêmement rapide, présentant un nombre considérablement restreint d'opérations qui de surcroît peuvent éventuellement être automatisées sans utiliser de
10 machines spécifiques complexes ou onéreuses.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un procédé de fabrication de moule permettant d'obtenir, sans surfaçage spécifique (usinage de finition, polissage, dépôt d'un revêtement de finition...), un moule de grande précision
15 dimensionnelle et d'état de surface excellent. L'invention vise également à fournir un moule permettant de réaliser des objets moulés dépourvus de couture.

De façon générale, l'invention vise également à proposer un procédé dépourvu d'opération d'usinage et d'opération de finition du moule.

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé permettant d'obtenir, sans traitement de surface spécifique (traitement chimique ou électrochimique, revêtement de protection...), un moule résistant à la corrosion et à l'oxydation.
20

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé pouvant utiliser un modèle permanent, susceptible d'être employé pour la fabrication de
25 plusieurs moules identiques.

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé de fabrication de moule permettant d'obtenir un moule réfractaire, adapté au domaine de la fonderie. Dans une version préférée, l'invention vise à fournir un moule de fonderie dans lequel la température de l'alliage en fusion peut être contrôlée.

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé de fabrication de moule qui permette d'obtenir un moule pouvant être utilisé plusieurs fois, et notamment un très grand nombre de fois, sans détérioration notable de son état de surface, y compris lorsque le matériau à mouler est corrosif et/ou porté à très haute température (alliage en fusion par exemple).

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé de fabrication de moule simple à mettre en oeuvre et sans risque majeur pour l'homme. En particulier, le procédé proposé n'oblige à aucune précaution particulière (telle que le port d'un masque ou d'une combinaison spécifique) pour sa mise en oeuvre.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un moule recyclable.

Dans une première version, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un moule pour le moulage d'objets en un matériau dit matériau à mouler, dans lequel on utilise un modèle des objets à mouler et on recouvre le modèle d'un matériau, dit matériau de moulage, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre de matériau de moulage, du graphite expansé, on recouvre le modèle de graphite expansé en formant une épaisseur continue de graphite expansé ou plusieurs épaisseurs séparées de graphite expansé réparties sur le modèle, puis on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé contre le modèle de façon à obtenir, pour chaque épaisseur, un bloc de graphite consolidé et imperméable au matériau à mouler.

On peut distinguer les modèles dits modèles fermés, dont la surface extérieure à imprimer est une surface fermée, des modèles dits modèles ouverts, dont la surface à imprimer est une surface ouverte. En d'autres termes, un modèle fermé est un objet que l'on souhaite reproduire en totalité, sous toutes ses faces, tandis qu'un modèle ouvert est une partie d'un objet, telle qu'une face ou un côté (le reste de l'objet n'étant pas à mouler). Dans le cas d'un modèle ouvert, il est souvent plus simple de ne former qu'une seule épaisseur de graphite expansé. Dans le cas d'un modèle fermé, si l'on forme une seule épaisseur continue de graphite expansé, celle-ci enveloppe de toute part le modèle. Il convient alors, soit de découper le bloc consolidé obtenu en vue de retirer le modèle, si ce dernier est un modèle permanent, soit de détruire le modèle

(par fusion ou réaction chimique), si ce dernier est un modèle destructible (en cire ou en polystyrène par exemple). En variante, on forme une pluralité d'épaisseurs de graphite expansé autour du modèle ; on peut, en particulier, former une première épaisseur d'un côté du modèle et une seconde épaisseur de l'autre côté du modèle de façon à envelopper complètement le modèle, en vue d'obtenir un moule en deux parties (c'est-à-dire en deux blocs). Il n'est pas exclu, en variante, de former plus de deux épaisseurs autour du modèle. Le nombre d'épaisseurs est notamment choisi en fonction de la complexité de la forme à mouler (c'est-à-dire du modèle). A noter que deux épaisseurs adjacentes sont séparées par une feuille de séparation par exemple, de préférence plane et rigide pour obtenir une surface de joint plane.

Dans une deuxième version, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un moule pour le moulage d'objets en un matériau dit matériau à mouler, dans lequel on utilise un modèle des objets à mouler et on recouvre le modèle d'un matériau, dit matériau de moulage, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre de matériau de moulage, du graphite expansé, on utilise au moins une épaisseur, dite épaisseur pré-consolidée, formée de graphite expansé recomprimé selon au moins une direction de façon à présenter une densité comprise entre 30 et 50 kg/m³, on dispose la(les) épaisseur(s) pré-consolidée(s) sur le modèle, puis on comprime la(les)dite(s) épaisseur(s) pré-consolidée(s) contre le modèle, de façon à venir recouvrir le modèle et à obtenir, pour chaque épaisseur, un bloc de graphite consolidé et imperméable au matériau à mouler.

En d'autre termes, dans cette deuxième version, le graphite expansé n'est pas directement disposé (sous forme expansée) sur le modèle, mais est fourni sous forme d'épaisseurs préfabriquées, en graphite expansé faiblement recomprimé, qui peuvent être manipulées -puisqu'elles sont consolidées- mais sont encore malléables sous une faible pression.

Dans ses deux versions, l'invention consiste donc, d'une part à utiliser du graphite expansé comme matériau de moulage et à presser contre un modèle ledit matériau, sous une forme encore expansée (non cohésive) ou sous une forme pré-consolidée (graphite expansé faiblement recomprimé), et d'autre part, si plusieurs

épaisseurs de graphite (expansé ou pré-consolidées) sont formées, à comprimer simultanément lesdites épaisseurs autour du modèle. L'invention propose notamment un procédé de fabrication d'un moule en deux parties ou plus, dans lequel toutes les parties du moule sont réalisées en même temps par des opérations communes (les épaisseurs étant comprimées ensemble).

La simplicité des procédés selon l'invention contraste avec les techniques antérieures connues rappelées en introduction. Ces procédés surprennent aussi par leur rapidité d'exécution : une simple compression instantanée de la(des) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) suffit à former le moule ; le modèle peut immédiatement être retiré, sans qu'il ne soit nécessaire d'attendre le séchage ou le durcissement ou la cuisson du matériau de moulage comme tel est le cas dans les techniques antérieures. Outre leur simplicité et leur rapidité d'exécution, les procédés selon l'invention présentent de multiples avantages :

- ils offrent la possibilité de réaliser des moules aux formes complexes,

- le moule obtenu présente une précision dimensionnelle et un état de surface excellents, qui permettent de s'affranchir des opérations usuelles de finition (usinage, polissage...) ; les objets moulés à l'aide d'un tel moule sont dépourvus de couture,

- le démoulage des objets moulés à l'aide d'un tel moule est facilité par le caractère lubrifiant du graphite expansé recomprimé,

- le moule obtenu présente un comportement mécanique (rigidité...), chimique (résistance à la corrosion et à l'oxydation...) et thermique (réfractaire, faible variation dimensionnelle face à d'importantes variations thermiques...) intéressant, qui autorise son utilisation de nombreuses fois et lui confère une longue durée de vie. Un tel moule conserve notamment un bon état de surface en dépit d'une utilisation intensive dans un environnement thermique (température élevée du matériau à mouler, fortes variations de température entre les périodes de non utilisation et les opérations de coulée du matériau à mouler...) et chimique (corrosion, oxydation...) souvent agressif,

- il n'est pas nécessaire de réaliser un châssis pour le moule, la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) pouvant être comprimée(s) directement entre le modèle et le ou les plateau(x) d'une presse,

- le procédé est sans danger, le graphite expansé n'étant ni toxique
5 ni dangereux,

- le modèle utilisé peut être permanent, ce qui permet de réaliser une pluralité de moule à partir d'un même modèle,

- le moule obtenu est aisément recyclable ; il suffit d'exfolier de nouveau le graphite du(des) bloc(s) consolidé(s), au moyen d'une solution
10 d'intercalation.

A noter qu'on utilise de préférence, à titre de graphite expansé, un graphite naturel expansé, éventuellement broyé (mais de préférence tel qu'obtenu après exfoliation).

Avantageusement et selon l'invention, on comprime la(les)
15 épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) de façon à obtenir un(des) bloc(s) consolidé(s) ayant une densité supérieure à 40 kg/m^3 dans le cas d'un moule destiné à des applications basse température (matériau à mouler du type plâtre, élastomère, plastique), et de préférence supérieure à 100 kg/m^3 dans le cas d'un moule destiné à des applications haute température (moule de fonderie, matériau à mouler du type alliage en
20 fusion). Une densité supérieure à 100 kg/m^3 confère en effet une excellente diffusivité thermique au(x) bloc(s) consolidé(s) de graphite, qui permet de réguler la température du moule et donc la vitesse de refroidissement du matériau à mouler. En tout état de cause, une densité supérieure à 40 kg/m^3 garantit une parfaite imperméabilité du moule vis-à-vis des matériaux à mouler les plus fins et les plus liquides, et un état de surface
25 du moule particulièrement fin.

On comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) selon plusieurs directions, et notamment selon trois directions orthogonales. En variante, on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) selon une unique direction.

Le choix entre ces deux mises en oeuvre dépend, d'une part de la forme du modèle, et d'autre part, des propriétés thermiques (conductivité, diffusivité thermique...) souhaitées pour le moule en graphite. Une compression multiaxiale (selon plusieurs directions) est préférée dans le cas d'un modèle de forme complexe voire torturée, pour garantir un parfait moulage du modèle. Une compression uniaxiale (selon une unique direction) conduit à l'obtention de bloc(s) consolidé(s) de graphite fortement anisotrope(s) (les propriétés, thermiques ou autres, obtenues selon la direction "c" de compression diffèrent de celles obtenues selon toute direction "a" orthogonale à la direction "c"), tandis qu'une compression selon toutes les directions (résultat obtenu, par exemple, en comprimant selon trois directions orthogonales) conduit à l'obtention de bloc(s) consolidé(s) de graphite faiblement anisotrope(s). En faisant varier les contraintes de compression appliquées selon chaque direction sur chaque épaisseur de graphite expansé ou pré-consolidée, on peut ajuster et contrôler les propriétés, notamment thermiques et mécaniques, du moule obtenu.

On soumet, de préférence, la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) à une unique opération de compression selon chaque direction. En d'autres termes, on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) une seule fois selon chaque direction.

Avantageusement et selon l'invention, on soumet la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) à une unique opération de compression, que cette(ces) épaisseur(s) soi(en)t comprimée(s) selon une unique direction ou selon plusieurs directions simultanément. Dans la première version de l'invention (cas où le graphite expansé est directement disposé sur le modèle), le moulage du modèle selon l'invention est donc réduit à deux seules étapes : formation d'une (ou plusieurs) épaisseur(s) de graphite autour du modèle puis compression.

En variante, on soumet la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s), selon au moins une direction, à une pluralité d'opérations distinctes de compression. Cette mise en oeuvre peut être avantageuse dans la première version de l'invention. En effet, on effectue par exemple, selon cette direction, une première compression adaptée pour consolider la(les) épaisseur(s) de graphite expansé en vue de

permettre sa(leur) manipulation, et, ultérieurement, une deuxième compression adaptée pour conférer une densité souhaitée au(x) bloc(s) consolidé(s).

Avantageusement et selon l'invention, dans la première version de l'invention, on recouvre, au moins partiellement, au moins une épaisseur de graphite expansé par une épaisseur de vermiculite expansée, puis on comprime ensemble toutes les épaisseurs formées de façon à obtenir, pour chaque épaisseur de vermiculite formée, un bloc, dit bloc mixte, de graphite/vermiculite consolidé, c'est-à-dire un bloc comprenant une couche de vermiculite consolidée et une couche de graphite consolidée et par ailleurs imperméable au matériau à mouler.

De façon similaire, dans la deuxième version de l'invention, on utilise au moins une épaisseur pré-consolidée, dite épaisseur mixte, formée à partir d'au moins deux couches superposées, une en graphite expansé et une autre en vermiculite expansée, comprimées ensemble selon au moins une direction de telle sorte que le graphite présente une densité comprise entre 30 et 50 kg/m³ et que la vermiculite soit consolidée. Chaque épaisseur pré-consolidée mixte utilisée est disposée sur le modèle de telle sorte que sa couche de graphite soit orientée vers le modèle. La compression d'une telle épaisseur pré-consolidée mixte contre le modèle conduit à l'obtention d'un bloc mixte tel que précédemment défini. Il est possible d'utiliser, pour la fabrication d'un même moule, au moins une épaisseur pré-consolidée de graphite et au moins une épaisseur pré-consolidée mixte.

Les inventeurs ont ainsi constaté, avec étonnement, qu'il était possible de comprimer ensemble des couches superposées de graphite et de vermiculite expansés, et d'obtenir, non seulement la consolidation de chaque couche, en dépit des ~~différences structurelles~~ (en terme d'agencement cristallin, de granulométrie, de mode de consolidation...) et mécaniques (résistance à la compression, viscosité...) du graphite et de la vermiculite, mais aussi une solidarisation desdites couches. Ce dernier résultat apparaît surprenant, si l'on considère que le graphite se consolide en premier et en une structure ordonnée lamellaire, dont les feuillets parallèles peuvent glisser les uns par rapport aux autres et confèrent au graphite recomprimé un caractère lubrifiant, tandis que la consolidation de la vermiculite n'intervient qu'après consolidation du graphite et

conduit à une structure chaotique. On aurait donc pu s'attendre à ce que la vermiculite, qui de surcroît présente une granulométrie supérieure à celle du graphite, ne puisse pas venir s'ancrer à la surface lisse et glissante de la couche consolidée de graphite. Une solidarisation s'opère pourtant, et on constate a posteriori une légère imbrication des plans de graphite et des grains de vermiculite, à l'interface des couches consolidées.

Selon l'invention, on obtient donc un moule comprenant une portion "interne" en graphite expansé recomprimé, destinée à être en contact avec le matériau à mouler, et une portion "externe" en vermiculite expansée recomprimée, enveloppant au moins partiellement la portion de graphite. La vermiculite expansée recomprimée étant un très bon isolant thermique, la portion de vermiculite constitue une protection isolante qui s'avère utile dans le cas d'un moule destiné à recevoir un matériau à mouler porté à haute température. Elle permet en effet de pouvoir manipuler le moule au cours des opérations de moulage d'objets, sans risque de brûlure.

Il est à noter que, dans le cas où le matériau à mouler est coulé à haute température (alliage en fusion par exemple), les propriétés thermiques du moule obtenu par un procédé selon l'invention sont particulièrement avantageuses : les bonnes conductivité et diffusivité thermiques du graphite expansé recomprimé font du moule obtenu un moule chaud (par opposition au moule en sable). Cette caractéristique du moule selon l'invention permet d'éviter les problèmes de remplissage du moule, rencontrés dans les techniques antérieures du fait d'un refroidissement prématuré du matériau de moulage en contact avec un moule froid alors que les opérations de coulée ne sont pas terminées. Cette caractéristique permet aussi d'obtenir des objets moulés homogènes. Elle permet encore et surtout de réguler la température du moule et donc de contrôler la vitesse de refroidissement du matériau à mouler, comme expliqué ci-après.

Avantageusement et selon l'invention, on place des organes de chauffage/refroidissement, tels qu'une partie d'un circuit électrique (résistances) ou hydraulique, dans au moins une épaisseur de graphite expansé ou pré-consolidée lors de sa formation (lorsque le graphite est sous forme expansée). A noter que si l'on utilise une épaisseur pré-consolidée mixte, les organes de chauffage/refroidissement sont

agencés dans la couche de graphite. Compte tenu que le graphite expansé recomprimé est un bon conducteur thermique (en particulier dans la ou les direction(s) de compression), qui de surcroît présente une faible inertie thermique, les organes de chauffage/refroidissement sont utilisés pour contrôler la température du moule et donc la vitesse de refroidissement et de consolidation du matériau à mouler (alliage en fusion par exemple). A noter que les contraintes de compression appliquées pour former le moule, en présence de tels organes de chauffage/refroidissement, sont choisies suffisamment faibles pour ne pas endommager lesdits organes, et notamment suffisamment faibles pour conférer aux(x) bloc(s) une densité (pour le graphite) inférieure à 400 kg/m^3 .

En variante (ou éventuellement en combinaison), on forme, directement dans la masse de graphite d'au moins un bloc, au moins une canalisation adaptée pour recevoir un fluide de chauffage/refroidissement, en plaçant au moins un tube destructible (par réaction chimique, par chauffage...) ou amovible dans l'épaisseur de graphite expansé ou pré-consolidée correspondante lors de sa formation, le(s)dit(s) tube(s) étant détruit(s) ou retiré(s) une fois ledit bloc consolidé. Les contraintes de compression sont choisies suffisamment élevées pour obtenir une densité de graphite conférant étanchéité et tenue mécanique à chaque canalisation formée. Ainsi, on comprime de préférence la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s) de telle sorte que le bloc consolidé présente une densité supérieure à 150 kg/m^3 .

En variante ou en combinaison, grâce à la sélectivité optique et à la bonne diffusivité thermique du graphie expansé recomprimé, il est possible de chauffer le moule, ou plus généralement d'en contrôler la température, sans contact, en exposant au moins une face en graphite, dite face extérieure, d'au moins un bloc consolidé mixte ou de graphite, à une source de rayonnements infrarouges située à l'extérieur et à distance du moule. On entend par "face extérieure" une face en graphite de l'épaisseur de graphite ou de l'épaisseur mixte, et donc du bloc consolidé correspondant, destinée à être orientée vers l'extérieur du moule et à être apparente lors de l'utilisation du moule, de sorte qu'elle peut être exposée à une source de rayonnements infrarouges.

Avantageusement et selon l'invention, lors de la compression de la(des) épaisseurs de graphite, on imprime sur au moins une face extérieure d'au moins une épaisseur de graphite expansé ou pré-consolidée (mixte ou non), des formes en creux ouvertes, dites formes de capture, adaptées pour piéger des ondes infrarouges.

- 5 Les formes de capture imprimées présentent notamment au moins une dimension frontale (d'ouverture) comprise entre 1 μm et 2 cm -et de préférence entre 100 μm et 1 cm-, et une profondeur comprise entre 1 μm et 10 cm -et de préférence entre 5 mm et 5 cm-.

- La présence des formes de capture améliore l'apport de calories par un tel chauffage par rayonnement : une onde incidente pénétrant à l'intérieur d'une forme de capture subit de multiples réflexions sur les faces en regard de la forme de capture ; l'énergie de l'onde est finalement presque intégralement absorbée par le graphite au niveau d'une telle forme de capture (la proportion du flux incident qui est réfléchi vers l'extérieur de la forme -et donc perdue- est très faible). Par ailleurs, en augmentant la surface de la face extérieure, la présence des formes de capture contribue également à faciliter non seulement l'apport de calories mais aussi l'évacuation de calories lors d'un refroidissement du bloc de graphite. Finalement, les formes de capture diminuent l'inertie thermique du bloc consolidé de graphite, déjà faible du fait des propriétés intrinsèques du graphite expansé recomprimé.
- 10
15
20

- Les formes de capture imprimées peuvent être des empreintes linéaires telles des fentes, rainures, sillons... droit(e)s ou courbes de section circulaire, carrée, triangulaire..., ou encore des empreintes ponctuelles de forme pyramidale, conique, hémisphérique, cylindrique (section carrée ou circulaire)..., ou des formes bien plus complexes. La géométrie des formes imprimées est choisie en fonction des longueurs d'onde à absorber et de la réponse thermique souhaitée pour le bloc consolidé de graphite.
- 25

- L'invention permet ainsi de doter un moule de moyens de régulation de sa température, sans qu'il ne soit nécessaire de munir le moule d'organes de chauffage/refroidissement supplémentaires, ni de prévoir une étape supplémentaire dans le procédé de fabrication du moule pour la mise en œuvre de ces moyens. Les
- 30

formes de capture sont en effet réalisées dans la masse même du graphite, en même temps que sont formés les blocs consolidés de graphite, lors de la compression des épaisseurs de graphite expansé ou pré-consolidées. Par ailleurs, de par les propriétés intrinsèques du graphite, les formes de capture sont réalisées avec une extrême
5 précision dimensionnelle, de sorte que l'on obtient un piégeage efficace des ondes dès lors que la géométrie et les dimensions des formes de capture sont choisies de façon adéquate en fonction de la nature des ondes à piéger. La réalisation des formes de capture est contrôlée de façon précise sans que cela ne nécessite l'emploi d'un outillage de précision complexe spécifique et coûteux.

10 A noter que si l'on forme une ou plusieurs épaisseurs de graphite et vermiculite expansés ou si l'on utilise une ou plusieurs épaisseurs pré-consolidées mixtes (graphite/vermiculite), un chauffage du moule par rayonnement n'est possible que si au moins l'une des faces extérieures du moule (visible lors de l'utilisation de celui-ci) est en graphite et n'est donc pas recouverte de vermiculite. C'est dans cette (ou
15 ces) face(s) que sont avantageusement imprimées les formes de capture.

Les deux versions de l'invention s'appliquent notamment à la fabrication d'un moule de fonderie.

Elles s'appliquent également au moulage d'une partie du corps humain, telle qu'une main, un bras, une jambe ou même un visage, à des fins
20 orthopédiques, pour le moulage ultérieur d'orthèses ou de prothèses, mais aussi artistiques. A noter qu'il est possible d'utiliser le procédé selon l'invention pour fabriquer directement une orthèse en graphite. Le procédé peut également s'avérer utile pour l'industrie du cinéma (réalisation de moule de main, de masque de visage...). Pour ces applications, la deuxième version de l'invention est préférée. Une faible
25 compression suffit pour obtenir un moule précis et complet. A noter que si le modèle est un visage, il s'agit d'un modèle ouvert (seule une face est à reproduire) et une seule épaisseur pré-consolidée est nécessaire.

L'invention s'étend à un moule obtenu par un procédé selon l'invention, et notamment à un moule de fonderie, un moule, dit moule orthopédique,

pour le moulage d'orthèses ou de prothèses, un moule d'art (pour la reproduction d'une oeuvre d'art du type sculpture, statue, etc.)...

Avantageusement et selon l'invention, le moule comprend au moins un bloc consolidé, dit bloc mixte, comportant au moins deux couches solidaires, dont une couche de graphite expansé recomprimé et une couche de vermiculite expansée recomprimée recouvrant au moins partiellement la couche de graphite.

Avantageusement et selon l'invention, le moule comprend au moins un bloc consolidé mixte ou de graphite présentant au moins une face, dite face extérieure (visible depuis l'extérieur à l'utilisation du moule), en graphite, dotée de formes ouvertes imprimées en creux, dites formes de capture, adaptées pour piéger des ondes infrarouges. Les formes de capture présentent au moins une dimension frontale comprise entre 1 μm et 2 cm -et de préférence entre 100 μm et 1 cm- et une profondeur comprise entre 1 μm et 10 cm -et de préférence entre 5 mm et 5 cm-.

L'invention s'étend également à un procédé de moulage d'objets, caractérisé en ce qu'on utilise un moule selon l'invention. Elle s'étend notamment à un procédé de fonderie pour mouler un alliage en fusion, dans lequel on utilise un moule de fonderie selon l'invention, ainsi qu'à un procédé de fabrication d'une orthèse ou d'une prothèse, dans lequel on utilise un moule orthopédique selon l'invention, et également à un procédé de reproduction d'une oeuvre d'art de type sculpture, dans lequel on utilise un moule d'art selon l'invention.

L'invention concerne également un moule et un procédé de fabrication de moule caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus et ci-après.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante qui se réfère aux figures annexées représentant des modes de réalisation préférentiels de l'invention donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, et dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe d'une presse utilisée selon la première version de l'invention pour fabriquer un moule,

- la figure 2 est une vue en perspective d'un moule en deux parties selon l'invention,

- la figure 2a est une vue en perspective coupée d'une face extérieure du moule de la figure 2,

5 - la figure 3 est une vue schématique en perspective, partiellement coupée, d'une autre presse utilisée selon la première version de l'invention pour fabriquer un moule,

- la figure 4 est une vue en perspective d'un autre moule en deux parties selon l'invention,

10 - le figure 5 est une vue en perspective illustrant un procédé selon la deuxième version de l'invention.

La figure 1 illustre un procédé de fabrication de moule selon la première version de l'invention. Dans une presse uniaxiale 1 à plateaux, de section carrée ou rectangulaire, on place un modèle 3 conforme aux objets que l'on souhaite reproduire à l'aide du moule, une feuille de séparation 7 transversale séparant la presse en deux parties au niveau d'un plan médian du modèle 3, et un tube 4 rigide amovible ou destructible, de préférence plein, s'étendant entre le modèle 3 et une paroi de la presse 1.

On forme ensuite une première épaisseur 5 de graphite expansé d'un côté de la feuille de séparation 7, c'est-à-dire autour d'une première moitié du modèle 3, ainsi qu'une seconde épaisseur 6 de graphite expansé de l'autre côté de la feuille de séparation 7, c'est-à-dire autour de l'autre moitié du modèle 3. Les épaisseurs 5 et 6 formées recouvrent ainsi totalement le modèle 3.

On comprime ensuite les épaisseurs de graphite expansé en actionnant au moins l'un des plateaux 2 de la presse, jusqu'à obtenir leur consolidation. Le taux de compression imposé est choisi en fonction de la destination du moule, et notamment du matériau à mouler. Dans le cas d'un moule de fonderie, on comprime les épaisseurs de façon à obtenir des blocs consolidés de graphite de densité supérieure à 100 kg/m^3 .

Les deux blocs de graphite parallélépipédiques 5a, 6a ainsi consolidés par compression sont ensuite retirés de la presse, puis séparés au niveau de leur plan de joint délimité par la feuille de séparation 7. On retire ladite feuille de séparation, le modèle 3 et le tube 4. On obtient un moule en deux parties 11, 10, 5 correspondant chacune à un bloc consolidé. La partie 11 comprend une empreinte 9 formée en creux dans le bloc consolidé de graphite 6a, qui correspond sensiblement à une moitié du modèle. La partie 10 comprend une empreinte 8 formée en creux dans le bloc consolidé de graphite 5a, qui correspond sensiblement à l'autre moitié du modèle, ainsi qu'un puits de coulée 12 laissé par le tube 4, qui s'étend entre l'empreinte 8 et une 10 face extérieure du bloc.

Chaque bloc 10, 11 présente également des formes de capture linéaire 13 du type rainure et des formes de capture ponctuelles 14 du type poinçon, sur sa face extérieure 15, 16, face contre laquelle a été appliqué le plateau de presse. Les plateaux de la presse utilisée sont, pour ce faire, munis chacun d'une matrice 15 d'impression présentant des picots et nervures (non représentés) correspondants, ayant une profondeur (dimension selon la direction de compression) comprise entre 1 cm et 5 cm et une largeur comprise entre 1 mm et 1 cm. La compression des épaisseurs de graphite expansé 5, 6 entraîne l'impression des formes de capture sur les faces 15, 16 des blocs 10, 11. Ces formes présentent des dimensions et une géométrie adaptées pour 20 piéger des ondes infrarouges. Les formes linéaires sont par exemple des rainures ou fentes droites (cylindriques) de section demi-circulaire (telles que 13) ou carrée ou triangulaire ou trapézoïdale, ou encore des rainures ou fentes courbes, de section quelconque... Les formes ponctuelles sont par exemple des empreintes coniques ou ~~encore~~ pyramidales de section carrée ou triangulaire, ou encore hémisphérique, etc...

25 La géométrie des formes de capture peut être encore plus complexe et résulter de calculs mathématiques de dimensionnement relatifs à une application particulière et notamment à une source de rayonnements de longueur d'onde donnée. A noter qu'il est possible de réaliser des formes de capture diverses et variées sur un même moule (tel qu'illustré), ou de ne prévoir qu'un seul type de formes

(linéaires ou ponctuelles) ou encore de ne prévoir qu'un seul modèle de forme particulier.

Les formes de capture 13, 14 permettent à la fois de piéger des ondes infrarouges émises par une source extérieure au moule et d'augmenter la surface d'échange du moule, en vue d'améliorer les échanges thermiques par rayonnement entre le moule et l'extérieur et donc l'efficacité d'un chauffage ou refroidissement par rayonnement.

Les figures 3 et 4 illustrent un autre procédé de fabrication de moule selon la première version de l'invention. On place, au centre d'une presse triaxiale 23 :

- un modèle 24 reproduisant les objets à fabriquer avec le moule,
- une feuille de séparation 25 entourant le modèle au niveau d'un plan médian de celui-ci,
- un réseau 26 de tubes rigides prévus dans la feuille de séparation et destinés à former, au sein du moule, des canalisations de réception d'un liquide de chauffage/refroidissement,
- un tube (non représenté) s'étendant au moins entre le modèle et un plan d'intersection de deux colonnes de la presse en vue de former un puits de coulée au sein du moule.

On introduit, dans chaque colonne 34, 35, 36 de la presse, du graphite expansé 32 de part et d'autre du modèle, de façon à former deux épaisseurs de graphite expansé séparées, au centre de la presse, par la feuille de séparation 25. On introduit ensuite, dans chaque colonne 34, 35, 36 de la presse, à chaque extrémité de la colonne, de la vermiculite expansée 31, qui vient recouvrir les épaisseurs de graphite expansé.

On comprime ensuite les épaisseurs formées en déplaçant les six plateaux de la presse vers le centre de celle-ci, les plateaux de la colonne 35 étant actionnés selon la direction C, ceux de la colonne 34 selon la direction B et ceux de la colonne 36 selon la direction A, jusqu'à ce qu'ils se rejoignent pour former un cube.

Le moule formé est ensuite retiré de la presse, puis ouvert par son plan de joint 33 délimité par la feuille de séparation 25. La feuille 25, les tubes 26, le tube de coulée et le modèle 24 sont retirés du moule. On obtient ainsi un moule en deux parties 21, 22, correspondant chacune à un bloc consolidé mixte. Chaque partie ou
5 moitié de moule comprend en effet une épaisseur interne consolidée 32a de graphite expansé recomprimé, qui délimite une empreinte 29, et une épaisseur externe consolidée 31a de vermiculite expansée recomprimée, qui enveloppe l'épaisseur 32a et forme une protection isolante du moule.

Les quantités de graphite et de vermiculite expansés, introduites
10 dans la presse pour former les épaisseurs correspondantes, sont choisies en fonction des dimensions de la presse et de la densité finale souhaitée pour les épaisseurs consolidées 31a et 32a.

Chaque moitié de moule 21, 22 comprend également des sillons 27, 28 formant, avec les sillons conjugués de l'autre moitié de moule, des canalisations
15 pour la circulation d'un liquide de chauffage/refroidissement du moule. Au moins l'une des moitiés de moule 21, 22 comprend de plus un puits de coulée 30 s'étendant entre une face extérieure du moule et l'empreinte 29. Le puits de coulée sert à l'introduction ou à l'injection du matériau à mouler, de préférence sous forme liquide.

A noter qu'un circuit indépendant, de circulation de liquide de
20 chauffage/refroidissement, peut être réalisé dans l'épaisseur 32a de graphite de chacune des moitiés de moule. Un tel procédé est préféré car il garantit une parfaite étanchéité des circuits. A noter également qu'il est possible d'insérer, dans chaque épaisseur de ~~graphite expansé~~, avant toute compression, des résistances électriques (câbles) ~~destinées à être reliées à un générateur de courant en vue du chauffage du moule par~~
25 ~~rayonnement~~.

Il est également possible, pour obtenir un moule selon l'invention, d'utiliser une presse uniaxiale telle que celle illustrée à la figure 1, de former deux épaisseurs de graphite expansé de part et d'autre d'un modèle, de former ensuite deux épaisseurs de vermiculite expansée de part et d'autre des épaisseurs de graphite, puis de
30 comprimer les épaisseurs selon une unique direction. On obtient un moule

parallélépipédique (formé de deux blocs mixtes), dont deux faces opposées seulement sont isolées par une épaisseur consolidée de vermiculite.

En variante, on replace les quatre épaisseurs précédemment consolidées (munies du modèle) dans la presse uniaxiale de telle sorte que les
5 épaisseurs de vermiculite s'étendent parallèlement à la direction C de compression de la presse, puis on recomprime les épaisseurs. Le moule ainsi obtenu est formé de deux blocs mixtes ayant été comprimés, de façon successive, selon deux directions orthogonales. On peut réitérer l'opération de façon à comprimer les épaisseurs selon une troisième direction orthogonale aux deux premières.

10 Avant chacune des deuxième et troisième compressions susmentionnées, il est possible de former deux nouvelles épaisseurs de vermiculite expansée de part et d'autre des épaisseurs précédemment consolidées. On obtient alors un moule parallélépipédique (en deux blocs mixtes) dont quatre faces sont isolées par une épaisseur de vermiculite consolidée si deux compressions seulement sont
15 effectuées, ou dont les six faces sont isolées si trois compressions sont effectuées.

A noter que, dans le cas d'un moule ayant au moins une face dépourvue de protection isolante en vermiculite, la température au sein du moule peut également être contrôlée et ajustée par chauffage/refroidissement de ladite(desdites) face(s), par contact d'un corps chauffant avec la(les)dite(s) faces puis par conduction
20 thermique dans la masse consolidée de graphite. Ainsi, grâce aux propriétés thermiques intéressantes du graphite expansé recomprimé, il n'est pas nécessaire de réaliser ou d'insérer, au sein de l'épaisseur de graphite, un circuit de chauffage/refroidissement, pour pouvoir contrôler la température du moule autour de l'empreinte.

La figure 5 illustre un procédé de moulage de main selon la
25 deuxième version de l'invention. On utilise pour ce faire, deux épaisseurs 40, 41 pré-consolidées, formées de graphite expansé ayant été faiblement recomprimé selon une direction dans une presse uniaxiale telle que celle utilisée à la figure 1. Dans l'exemple illustré, les épaisseurs ont été pré-consolidées par compression selon une direction parallèle à la direction D. A noter qu'il est possible d'utiliser des épaisseurs pré-
30 consolidées formées de graphite expansé recomprimé selon plusieurs directions, et

notamment selon trois directions orthogonales. Toutefois, un tel procédé grève inutilement les coûts de fabrication.

Les épaisseurs 40, 41 présentent de préférence une densité comprise entre 30 et 35 kg/m³, c'est-à-dire tout juste supérieure à la densité de consolidation du graphite expansé. De telles épaisseurs pré-consolidées sont donc encore très malléables. Une faible pression suffit pour laisser une empreinte dans le graphite.

Selon l'invention, on place la main 42 à mouler entre les deux épaisseurs 40, 41, puis on presse lesdites épaisseurs contre la main, selon la direction D. On applique notamment une force de compression sur la face supérieure de l'épaisseur 41, jusqu'à ce que les épaisseurs recouvrent entièrement la main, c'est-à-dire jusqu'à ce que leurs faces en regard 44, 43 se rejoignent. On sépare ensuite les deux épaisseurs consolidées, dites blocs consolidés, pour retirer la main du moule.

Il n'est pas nécessaire, selon ce procédé, de prévoir une feuille de séparation entre les deux épaisseurs 40, 41. Les épaisseurs étant pré-consolidées, elles présentent une structure lamellaire en feuillets parallèles pouvant glisser les uns par aux autres, lesquels feuillets sont orthogonaux à la direction de pré-consolidation des épaisseurs, et donc, en l'exemple, orthogonaux à la direction D. La pression exercée sur les épaisseurs 40, 41 pour former le moule se traduit, sur les feuillets parallèles formant les surfaces 43 et 44, par des efforts orthogonaux auxdits feuillets, qui sont insuffisants pour entraîner leur imbrication.

Il va de soi que l'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes par rapport aux modes de réalisation précédemment décrits et représentés sur les-figures.

En particulier, l'invention permet de fabriquer, non seulement des moules en deux parties tels que ceux illustrés, mais aussi des moules d'un seul tenant (de tels moules doivent être détruits pour permettre de démouler l'objet) ou des moules en trois parties et plus. En outre, les presses utilisées peuvent être de type quelconque et de section-quelconque.

REVENDICATIONS

1/ Procédé de fabrication d'un moule pour le moulage d'objets en un matériau dit matériau à mouler, dans lequel on utilise un modèle des objets à mouler et on recouvre le modèle d'un matériau, dit matériau de moulage, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre de matériau de moulage, du graphite expansé, on recouvre le modèle (3) de graphite expansé en formant une épaisseur continue de graphite expansé ou plusieurs épaisseurs (5, 6) séparées de graphite expansé réparties sur le modèle, puis on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé contre le modèle de façon à obtenir, pour chaque épaisseur, un bloc de graphite (5a, 6a) consolidé et imperméable au matériau à mouler.

2/ Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on forme une première épaisseur (5) de graphite expansé d'un côté du modèle et une seconde épaisseur (6) de graphite expansé de l'autre côté du modèle de façon à envelopper entièrement le modèle (3), en vue d'obtenir un moule en deux parties (10, 11).

3/ Procédé de fabrication d'un moule pour le moulage d'objets en un matériau dit matériau à mouler, dans lequel on utilise un modèle des objets à mouler et on recouvre le modèle d'un matériau, dit matériau de moulage, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre de matériau de moulage, du graphite expansé, on utilise au moins une épaisseur (40, 41), dite épaisseur pré-consolidée, de graphite expansé recomprimé selon au moins une direction de façon à présenter une densité comprise entre 30 et 50 kg/m³, on dispose la(les) épaisseur(s) pré-consolidée(s) (40, 41) sur le modèle (42), puis on comprime la(les) dite(s) épaisseur(s) pré-consolidée(s) contre le modèle de façon à venir recouvrir le modèle et à obtenir, pour chaque épaisseur, un bloc de graphite consolidé et imperméable au matériau à mouler.

4/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (5, 6) ou pré-consolidée(s) (40, 41) de façon à obtenir un(des) bloc(s) consolidé(s) de graphite ayant une densité supérieure à 40 kg/m³.

- 5/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (5, 6) ou pré-consolidée(s) (40, 41) de façon à obtenir un(des) bloc(s) consolidé(s) de graphite ayant une densité supérieure à 100 kg/m^3 .
- 5 6/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (32) ou pré-consolidée(s) selon plusieurs directions.
- 7/ Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (32) ou pré-consolidée(s) selon trois directions orthogonales.
- 10 8/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on comprime la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (5, 6) ou pré-consolidée(s) (40, 41) selon une unique direction.
- 9/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'on soumet la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (5, 6, 32) ou pré-consolidée(s) (40, 41) à une unique opération de compression selon chaque direction.
- 15 10/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on soumet la(les) épaisseur(s) de graphite expansé (5, 6, 32) ou pré-consolidée(s) (40, 41) à une unique opération de compression.
- 20 11/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on soumet la(les) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s), selon au moins une direction, à une pluralité d'opérations distinctes de compression.
- 12/ Procédé selon les revendications 1 et 11, caractérisé en ce qu'on effectue, selon cette direction, une première compression adaptée pour consolider la(les) épaisseur(s) de graphite expansé en vue de permettre sa(leur) manipulation, et, ultérieurement, une deuxième compression adaptée pour conférer une densité souhaitée au(x) bloc(s) consolidé(s).
- 25 13/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre de graphite expansé, un graphite naturel expansé.

14/ Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on recouvre, au moins partiellement, au moins une épaisseur (32) de graphite expansé par une épaisseur (31) de vermiculite expansée, puis on comprime ensemble toutes les épaisseurs formées de façon à obtenir, pour chaque épaisseur de vermiculite formée, un
5 bloc, dit bloc mixte (22), de graphite/vermiculite consolidé.

15/ Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'au moins l'une des épaisseurs pré-consolidées utilisées est une épaisseur dite épaisseur mixte, formée à partir d'au moins deux couches superposées, une en graphite expansé et une autre en vermiculite expansée, comprimées ensemble selon au moins une direction
10 de telle sorte que le graphite présente une densité comprise entre 30 et 50 kg/m³ et que la vermiculite soit consolidée, chaque épaisseur mixte utilisée étant disposée sur le modèle de telle sorte que la couche de graphite soit orientée vers le modèle.

16/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'on place des organes de chauffage/refroidissement dans au moins une
15 épaisseur de graphite expansé ou pré-consolidée lors de sa formation.

17/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que l'on forme, directement dans la masse de graphite d'au moins un bloc, au moins une canalisation (27, 28) adaptée pour recevoir un fluide de chauffage/refroidissement, en plaçant au moins un tube destructible (26) ou amovible
20 dans l'épaisseur de graphite expansé (32) ou pré-consolidée correspondante lors de sa formation, le(s)dit(s) tube(s) étant détruit(s) ou retiré(s) une fois ledit bloc consolidé.

18/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que, lors de la compression de la(des) épaisseur(s) de graphite expansé ou pré-consolidée(s), on imprime sur au moins une face, dite face extérieure, d'au moins un
25 bloc, des formes en creux ouvertes, dites formes de capture, adaptées pour piéger des ondes infrarouges.

19/ Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que les formes de capture imprimées présentent au moins une dimension frontale comprise entre 1 µm et 2 cm et une profondeur comprise entre 1 µm et 10 cm.

20/ Moule caractérisé en ce qu'il est obtenu par un procédé selon l'une des revendications 1 à 19.

21/ Moule selon la revendication 20, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un bloc consolidé, dit bloc mixte, comportant au moins deux couches solidaires dont une couche de graphite expansé recomprimé et une couche de vermiculite expansée recomprimée recouvrant au moins partiellement ladite couche de graphite.

22/ Moule selon l'une des revendications 20 ou 21, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un bloc consolidé présentant au moins une face, dite face extérieure, en graphite, dotée de formes ouvertes imprimées en creux, dites formes de capture, adaptées pour piéger des ondes infrarouges.

23/ Moule selon la revendication 22, caractérisé en ce que les formes de capture présentent au moins une dimension frontale comprise entre 1 μm et 2 cm et une profondeur comprise entre 1 μm et 10 cm.

24/ Moule de fonderie selon l'une des revendications 20 à 23.

25/ Moule, dit moule orthopédique, pour le moulage d'orthèses ou de prothèses, selon l'une des revendications 20 à 23.

26/ Moule d'art selon l'une des revendications 20 à 23.

27/ Procédé de moulage d'objets, caractérisé en ce qu'on utilise un moule selon l'une des revendications 20 à 26.

28/ Procédé de fonderie pour mouler un alliage en fusion, caractérisé en ce qu'on utilise un moule selon la revendication 24.

29/ Procédé de moulage d'orthèses ou de prothèses, caractérisé en ce qu'on utilise un moule selon la revendication 25.

30/ Procédé de reproduction d'une oeuvre d'art de type sculpture, caractérisé en ce qu'on utilise un moule selon la revendication 26.

1/3

Fig 1

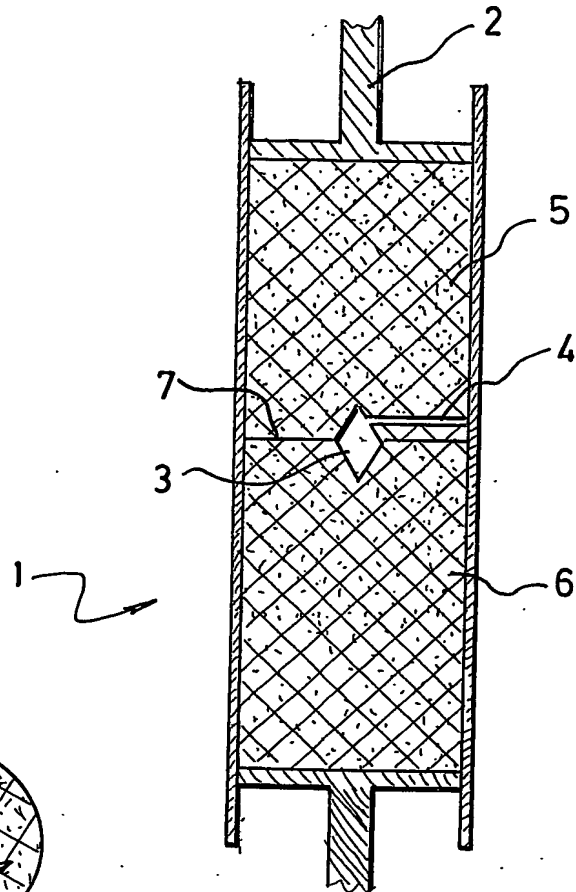


Fig 2a

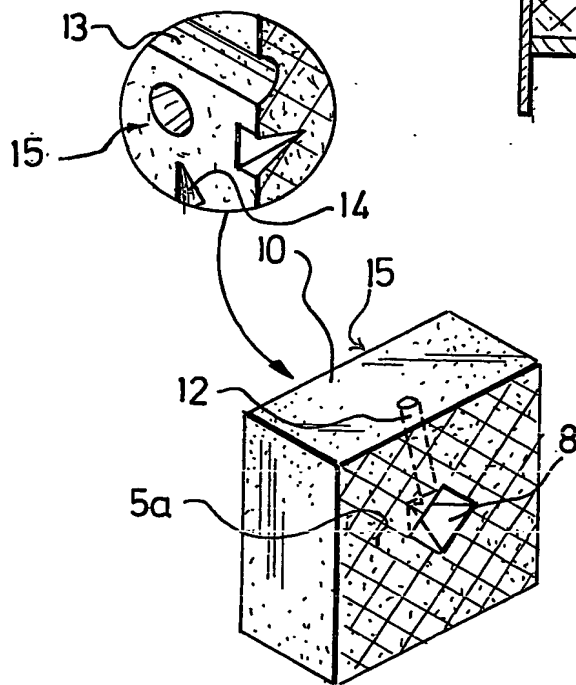
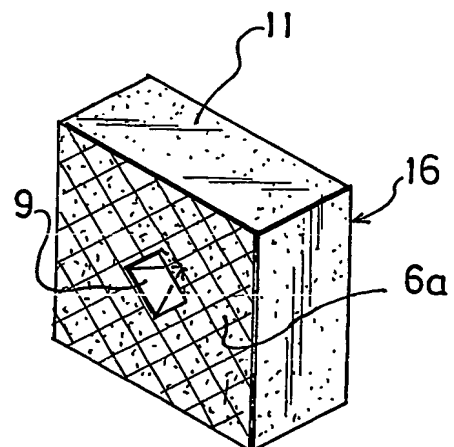


Fig 2



2/3

Fig 3

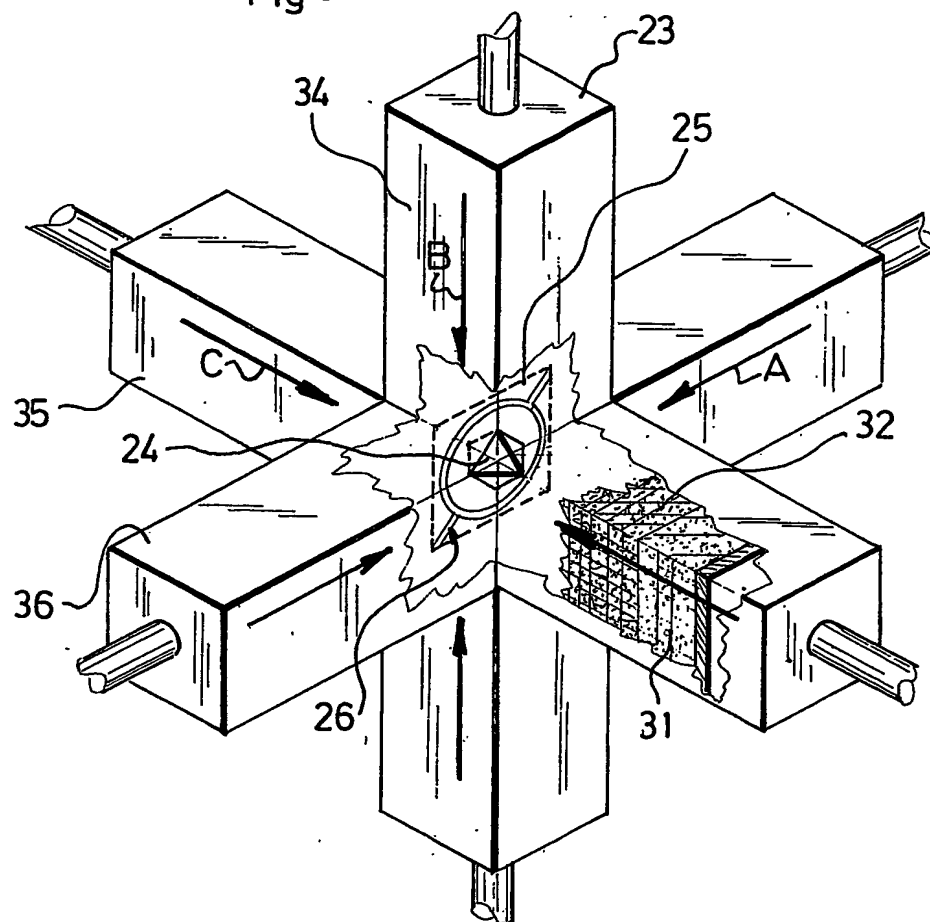
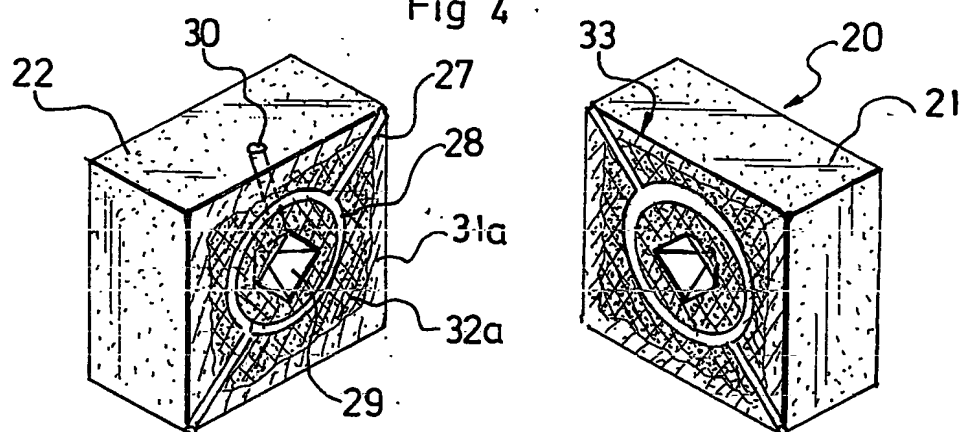


Fig 4



3/3

Fig 5

